(Osobne odbicie z T. XXXIII Roczn. c. k. Tow. nauk. krak.)

O NIEZGODNOŚCI CIEPŁOMIERZY
z powodu różnéj, a oraz zmiennéj rozszérzalności ich naczyń szklannych.

Rzecz odczytana na posiedzeniach Tow. Naukowego Krakowskiego dnia 13 Maja i 15 Lipca 1865 r.

przez
Prof. Dra Stefana Kuczyńskiego.

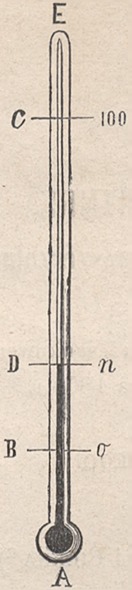
Według doświadczeń Regnaulta [1]) i Pierra [2]) nie zgadzają się ciepłomierze rtęciowe, jeżeli są zrobione ze szkieł różnych, to jest ze szkieł mających różną rozszérzalność, chociażby zachowano największą dokładność przy oznaczaniu ich punktów stałych, i przy urządzaniu podziałek. Nie znalazłszy nigdzie dodładnéj teoryi tłumaczącéj to zjawisko, uważam za rzecz stósowną takową tutaj przedłożyć.

Niech *AE* oznacza ciepłomierz rtęciowy, którego rurka ma wszędzie jednakowe przecięcie, *A* bańkę, *B*

---

[1]) *Sur la comparaison du thermomètre à air avec le thermomètre à mercure. Annales de Chimie et de Physique 3me serie.* T. V. str. 99.

[2]) *Sur la marche comparative des thermomètres à mercure formés par des verres differents. Annal. de Chim. et de Phys. 3me serie.* T. V. str. 448.



punkt stały topniejącego lodu, C punkt wrzącéj wody. Ażeby ustalić pojęcia przyjmuję podziałkę Celsiusza: B więc oznaczone zerem, C liczbą *100*. Przy ciepłocie $t^0 C$ wznosi się rtęć po punkt D, oznaczony na podziałce liczbą n. A zatém $x = n - t$ błąd podziałki w punkcie D.

Nazywam o_0, o_t, o_{100} objętości rtęci przy ciepłotach 0°, t°, *100*° według Celsiusza; podobnie b_0, b_t, b_{100} pojemności bańki A łącznie z częścią rurki aż po punkt B; r_0, r_t, r_{100} pojemności części rurki BD; u_0, u_t, u_{100} pojemności rurki BC, czyli ustępu głównego przy tych różnych ciepłotach; α i β średnie współczynniki rozszerzalności sześciennéj dla rtęci i szkła w granicach od 0° do *100*°C, zaś α_1 i β_1 takież współczynniki dla tych samych ciał w granicach od 0° do t°C.

Jest więc:

$$\left.\begin{aligned} o_0 &= b_0 \\ o_t &= b_t + r_t \\ o_{100} &= b_{100} + u_{100} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} o_t &= o_0(1+\alpha_1 t) = b_0(1+\alpha_1 t) \\ o_{100} &= o_0(1+100\alpha) = b_0(1+100\alpha) \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} b_t &= b_0(1+\beta_1 t) \\ b_{100} &= b_0(1+100\beta) \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} u_t &= u_0(1+\beta_1 t) \\ u_{100} &= u_0(1+100\beta) \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

$$r_t = r_0(1+\beta_1 t) \quad (5)$$

$$r_t : u_t = r_0 : u_0 = n : 100$$

$$u_t : u_{100} = 1+\beta_1 t : 1+100\beta$$

$$r_t = \frac{n u_t}{100}$$

$$u_t = u_{100} \frac{1 + \beta_1 t}{1 + 100\beta}$$

$$r_t = u_{100} \frac{n(1 + \beta_1 t)}{100(1 + 100\beta)} \qquad (6)$$

Położywszy w trzeciém zrównaniu (1) ważności za o_{100} i b_{100} z (2) i (3):

$$b_0(1 + 100\alpha) = b_0(1 + 100\beta) + u_{100}$$

Zkąd:

$$u_{100} = 100 b_0 (\alpha - \beta)$$

Którą to ważność kładąc za u_{100} w zrównaniu (6):

$$r_t = \frac{n b_0 (\alpha - \beta)(1 + \beta_1 t)}{1 + 100\beta}. \qquad (7)$$

Położywszy w drugiém zrównaniu (1) za o_t, b_t i r_t ich ważności z (2) (3) i (7) otrzymamy:

$$b_0(1 + \alpha_1 t) = b_0(1 + \beta_1 t) + \frac{n b_0 (\alpha - \beta)(1 + \beta_1 t)}{1 + 100\beta}$$

Zkąd:

$$(\alpha_1 - \beta_1) t = \frac{n(\alpha - \beta)(1 + \beta_1 t)}{1 + 100\beta}$$

Więc:

$$t = \frac{n(\alpha - \beta)}{(1 + 100\beta)(\alpha_1 - \beta_1) - n\beta_1(\alpha - \beta)} \qquad (I)$$

$$n = \frac{(\alpha_1 - \beta_1)(1 + 100\beta) t}{(\alpha - \beta)(1 + \beta_1 t)} \qquad (II)$$

$$x = n - t = t \left\{ \frac{(\alpha_1 - \beta_1)(1 + 100\beta)}{(\alpha - \beta)(1 + \beta_1 t)} - 1 \right\} \qquad (III)$$

$$x = n \left\{ 1 - \frac{\alpha - \beta}{(1 + 100\beta)(\alpha_1 - \beta_1) - n\beta_1(\alpha - \beta)} \right\} \qquad (IV)$$

Ażeby wyjaśnić znaczenie i zastósowanie tych wzorów, obliczyłem według II i III n i x odpowiadające stopniom ciepłoty t w dwóch ciepłomierzach rtęciowych, zrobionych jak najdokładniéj ze szkieł różnych, badanych przez Regnaulta, t. j.: z pomiędzy których jeden ma być

ze szkła kryształowego z Choisy, a drugi ze zwyczajnego szkła białego francuskiego. W następującéj tablicy I zestawiłem tak dane, służące za podstawę obliczeniu, jako też wypadki tegoż. Kolumny téj tablicy mają następujące znaczenie: t prawdziwy stopień ciepłoty; α_1 średni współczynnik rozszérzalności sześciennéj rtęci w granicach od 0° do t°C, według Regnaulta; β'_1 i β_1 średnie współczynniki rozszérzalności sześciennéj szkieł w tych samych granicach, również według Regnaulta[3]); n i n' stopnie odpowiednie ciepłocie t na wspomnionych ciepłomierzach, obliczone według wzoru II; x i x' błędy tych ciepłomierzy dla ciepłoty t; $n—n'$ różnica obudwu ciepłomierzy.

---

[3]) *Cours de Physique de l'école polytechnique par* M. J. Jamin Paris. 1859. Tom II. str. 28 i 35. Gdy jednak w tabliczce przez Jamina według Regnaulta na str. 35 podanéj, popełniono błąd oczywisty, opuszczając jedno zero po znaku w kolumnie drugiéj, ten błąd poprawiłem w mojéj tabliczce.

TABLICA I.

t	α_1	Szkło kryształowe z Choisy			Zwyczajne szkło białe francuskie			$n - n'$
		β_1	n	x	β'_1	n'	x'	
0			0·000	0·000		0·000	0·000	
10	0·00017926	0·00002270	9·881	— 0·119	0·00002628	9·964	— 0·036	— 0·083
20	0·00017951	0.00002270	19·789	— 0·211	0·00002642	19·936	— 0·064	— 0·147
30	0·00017976	0·00002270	29·725	— 0·275	0·00002657	29·916	— 0·084	— 0·191
40	0·00018002	0·00002270	39·689	— 0·311	0·00002672	39.906	— 0·094	— 0·217
50	0·00018027	0·00002270	49·679	— 0·321	0·00002687	49·900	— 0·100	— 0·221
60	0·00018052	0.00002272	59·686	— 0·314	0·00002701	59·908	— 0·092	— 0·222
70	0·00018077	0·00002274	69·722	— 0·278	0·00002716	69·919	— 0·081	— 0·197
80	0·00018102	0.00002276	79·780	— 0·220	0·00002731	79·937	— 0·063	— 0·157
90	0·00018127	0·00002278	89·862	— 0·138	0·00002746	89·962	— 0·038	— 0·100
100	0·00018153	0·00002280	100·000	0·000	0·00002761	100·000	0·000	0·000
150	0·00018279	0.00002300	150·638	+ 0·638	0.00002835	150·283	+ 0·283	+ 0·355
200	0·00018405	0·00002310	202·274	+ 2·274	0·00002908	200·753	+ 0·753	+ 1·521
250	0·00018531	0·00002320	254·366	+ 4·366	0·00002982	251·373	+ 1·373	+ 2·993
300	0·00018658	0·00002330	307·079	+ 7·079	0·00003056	302·162	+ 2·162	+ 4·917
350	0·00018784	0·00002340	361·205	+11·205	0·00003131	353·049	+ 3·049	+ 8·156

Podobnież za pomocą wzoru I i IV obliczyćby można, jakie ciepłoty prawdziwe t odpowiadają stopniom odczytanym n na wspomnionych ciepłomierzach, oraz jak wielkim jest błąd x odpowiadający odczytanemu stopniowi n. Jednak przy tém obliczeniu zważaćby na to wypadało, że średnie współczynniki rozszerzalności odpowiadają stopniowi prawdziwéj ciepłoty t, nie zaś stopniowi na podziałce odczytanemu n; biorąc więc współczynniki rozszerzalności α_1 i β_1 odpowiednie liczbie n, (gdyż t dopiero ma być obliczoném, a więc nie jest znaném) otrzymanoby wypadek przybliżony. Dopiero biorąc do przybliżonéj ważności t, znalezionéj przez obliczenie pierwsze, odpowiednie ważności współczynników rozszerzalności, i przeprowadzając rachunek powtórnie, otrzymanoby t dokładniéj odpowiadające ważności n. Wszakże obejść się można bez tak mozolnego rachunku, szukając z tablicy powyższéj do danego n odpowiednie t przez interpolacyą.

Jakkolwiek powyższe wzory I, II, III, IV wyprowadzone zostały tylko dla ciepłomierzy rtęciowych, jednak rozpatrzywszy się bliżéj, łatwo dostrzedz, że takież same wzory dadzą się wyprowadzić dla ciepłomierzy wypełnionych jakąkolwiek cieczą, a nawet suchym gazem; byleby tylko w ostatnim razie niezmienném było ciśnienie na słupek rtęci, oddzielający gaz wewnątrz ciepłomierza od powietrza zewnętrznego; gdyż ten sam sposób wnioskowania da się zastósować do wszystkich ciepłomierzy, mających podziałkę zrobioną według tych samych zasad jak w ciepłomierzach rtęciowych.

Dla tego téż obliczyłem błędy pochodzące ze zmiennéj rozszerzalności naczyń dla ciepłomierzy powietrznych, zrobionych z powyżéj wymienionych szkieł, według tych

samych wzorów II i III. Za podstawę rachunku wziąłem średnie współczynniki rozszérzalności szkieł wynalezione przez Regnaulta, w tablicy I podane, daléj stały współczynnik rozszérzalności powietrza przy stałém ciśnieniu 760 m.m., również według Regnaulta 0·0036706 [4]), i zestawiłem wypadki w tablicy II. Napisy mają to samo znaczenie jak w tablicy pierwszéj, dodane są tylko kolumny oznaczone głoskami *d*, *d'*, podające ile stopni ciepłomierz rtęciowy więcéj okazuje przy téj saméj ciepłocie, niż powietrzny zrobiony z tego samego szkła.

TABLICA II.

t	Szkło kryształowe z Choisy			Zwyczajne szkło białe franc.			*n* — *n'*
	n	*x*	*d*	*n'*	*x'*	*d'*	
0	0.000	0·000	0·000	0.000	0·000	0·000	0·000
10	10·021	+ 0·021	− 0·140	10·029	+ 0·029	− 0·065	− 0·008
20	20·037	+ 0·037	− 0·248	20·051	+ 0·051	− 0·115	− 0·014
30	30·049	+ 0·049	− 0·324	30·067	+ 0·067	− 0·151	− 0·018
40	40·056	+ 0·056	− 0·367	40·077	+ 0·077	− 0·171	− 0·021
50	50·058	+ 0·058	− 0·379	50·080	+ 0·080	− 0·180	− 0·022
60	60·054	+ 0·054	− 0·368	60·078	+ 0·078	− 0·170	− 0·024
70	70·051	+ 0·051	− 0·329	70·068	+ 0·068	− 0·149	− 0·017
80	80·036	+ 0·036	− 0·256	80·053	+ 0·053	− 0·116	− 0·017
90	90·020	+ 0·020	− 0·158	90·028	+ 0·028	− 0·066	− 0·008
100	100·000	+ 0·000	− 0·000	100·000	0·000	0·000	0·000
150	149·668	− 0·332	+ 0·970	149·749	− 0·251	+ 0·534	− 0·081
200	199·518	− 0·482	+ 2·756	199·310	− 0·690	+ 1·443	+ 0·208
250	249·098	− 0.902	+ 5·268	248·685	− 1·315	+ 2·688	+ 0·413
300	298·556	− 1·444	+ 8·523	297·843	− 2·157	+ 4·319	+ 0·713
350	347·891	− 2·109	+ 13·314	346·889	− 3·111	+ 6·160	+ 1·002

[4]) Jamin. *Cours de Physique*, str. 70.

Wzory I, II, III, IV znacznie się uproszczą, jeżeli w nich położymy $\alpha = \alpha_1$, $\beta = \beta_1$, a więc $\alpha - \beta = \alpha_1 - \beta_1$, t. j., jeżeli je zastósujemy do ciał mających współczynniki rozszérzalności niezmienne. Przejdą one naówczas w następujące:

$$t = \frac{n}{1 + (100 - n)\beta} \tag{V}$$

$$n = \frac{(1 + 100\beta)\,t}{1 + \beta t} \tag{VI}$$

$$x = \frac{(100 - t)\beta t}{1 + \beta t} \tag{VII}$$

$$x = \frac{(100 - n)\beta n}{1 + (100 - n)\beta} \tag{VIII}$$

Z wzoru (VII) otrzymamy:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\beta(100 - 2t - \beta t^2)}{(1 + \beta t)^2}$$

Ztąd widzimy, że błąd x będzie największością (*maximum*), jeżeli: $100 - 2t - \beta t^2 = 0$.

Zważywszy, że naprzód o największém błędzie x mówić tylko można dla t zostającego w granicach pomiędzy 0 i 100; gdyż dla t ujemnego i dla $t > 100$, wzrastać będzie x bez końca, gdy wzrasta liczebna ważność stopnia ciepłoty t (jak to łatwo dostrzedz można z wzoru VII); powtóre, że β jest bardzo małym ułamkiem, (jak to widzieć można w tablicy I); możemy, jeżeli idzie tylko o przybliżone oznaczenie téj ważności t, dla któréj x stanie się największością, opuścić wyraz βt^2, jako bardzo mały, w porównaniu z liczbą $100 - 2t$. Wtedy $t = 50$. Dokładniejszą ważność otrzymamy nie opuszczając wyrazu βt^2:

$$t = \frac{-1 + \sqrt{1 + 100\beta}}{\beta} \tag{IX}$$

Przed znakiem pierwiastkowym wziąłem tylko znak $+$, gdyż dla znaku byłoby t ujemne $-$, co według uwag powyższych być nie może, albowiem t oznacza stopień w ustępie głównym.

Według wzoru VI obliczyłem tablicę III. Odpowiada ona ciepłomierzom z podziałką dokładną, według tych samych zasad zrobioną, jak w ciepłomierzach rtęciowych, w którychby jednak naczynia i rurki szklanne również jak płyn je wypełniający miały rozszérzalność w prawdzie różną, lecz niezmienną. W kolumnie t podane są prawdziwe stopnie ciepłoty, w kolumnie n stopnie im odpowiadające na ciepłomierzu, a w kolumnie x błąd tegoż, jeżeli niezmienny współczynnik rozszérzalności sześciennéj szkła $\beta = 0{\cdot}00002$; kolumny n' i x' te same podają ilości, jeżeli $\beta = 0{\cdot}00003$. Kolumna $n-n'$ podaje różnicę stopni téj saméj ciepłocie odpowiadających, odczytanych na dwóch ciepłomierzach jeżeli dla jednego $\beta = 0{\cdot}00002$, dla drugiego $\beta' = 0{\cdot}00003$.

TABLICA III.

t	n	x	n'	x'	$n-n'$
—100	—100·40	—0·40	—100·60	—0·60	+0·20
—50	—50·15	—0·15	—50·23	—0·23	+0·08
0	0·00	0·00	0·00	0·00	0·00
+50	+50.05	+0·05	+50·07	+0·07	—0·02
100	100·00	0·00	100·00	0·00	0·00
150	149·85	—0·15	149·83	—0·17	+0·02
200	199·60	—0·40	199·41	—0·59	+0·19
250	249·25	—0·75	248·88	—1·12	+0·37
300	298·81	—1·19	298·21	—1·79	+0·60
+350	+348.26	—1·74	+346·78	—3·22	+1.48

Z teoryi wyłożonéj i dodanemi tablicami objaśnionéj wypływają następujące prawa dla ciepłomierzy zrobionych według téj saméj zasady jak rtęciowe.

Najprzód: jeżeli tak płyn w nich zawarty, jako też szklanne naczynia i rurki mają rozszérzalność niezmienną. W tym razie:

a. Ciepłomierze okazują tylko dwie ciepłoty dokładnie, t. j. zero i sto; wszystkie zaś inne niedokładnie, chociażby ich podziałka była zrobioną najdokładniéj. Albowiem z wzoru (VI)

$$n = \frac{(1+100\beta)t}{1+\beta t}$$

widzimy: że, gdy $t=0$, także $n=0=t$; również, jeżeli $t=100$, $1+\beta t=1+100\beta$, a więc $n=t=100$; jeżeli zaś $t>100$, wtedy $1+\beta t>1+100\beta$,

więc: $$\frac{1+100\beta}{1+\beta t}<1$$

$$n<t;$$

podobnie, jeżeli $t<100$, a dodatne, $1+\beta t<1+100\beta$; więc $n>t$. Nakoniec, jeżeli t ujemne, jest $1+\beta t<1<1+100\beta$, a oraz, dla małéj bardzo ważności β, $1+\beta t$ dodatne; więc n ujemne, liczebna zaś ważność $n>t$.

b. Błąd podziałki jest dodatnym w ustępie głównym, ujemnym zaś dla stopni ciepłoty niższych od zera i wyższych niż sto. Albowiem błąd $x=n-t$. Według powyższych uwag zaś jest $n>t$, jeżeli $t<100$, a dodatne; więc w tym razie $x=n-t$ dodatne; jeżeli zaś $t>100$, $n<t$; więc $x=n-t$ ujemne; nakoniec, jeżeli t ujemne, n także ujemne, lecz liczebnie $n>t$, więc $x=n-t$ ujemne.

c. Błąd podziałki jest jedynie zależnym od β i t, albo od β i n, bynajmniéj zaś nie wpływa ani na znak

jego, ani na jego wielkość współczynnik rozszérzalności płynu zawartego w ciepłomierzu α, zarówno, czyli ten płyn jest ciekłym, czy lotnym. Co wyraźnie okazują wzory VII i VIII.

d. Przy niezmiennéj ważności β, błąd podziałki jest liczebnie tém większym, im więcéj się stopień ciepłoty wznosi nad sto, lub im więcéj się zniża pod zero, w ustępie zaś głównym jest największością dla stopnia ciepłoty

$$t = \frac{-1+\sqrt{1+100\beta}}{\beta}.$$

Ostatnią część tegoż prawa już wyżéj (IX) udowodniłem, gdzie oraz okazałem: iż stopień t, dla którego błąd w ustępie głównym jest największością, nie wiele się różni od 50^0. Poprzedzające części tegoż prawa wypływają z wzoru VII:

$$x = \frac{(100-t)\beta t}{1+\beta t}.$$

Jeżeli $t = 100 + \delta$, gdzie δ oznacza liczbę dodatną; to

$$x = \frac{-\beta\delta(100+\delta)}{1+\beta(100+\delta)}. \qquad (X)$$

Zważywszy: że β jest bardzo małym ułamkiem, jak to widzimy z tablicy I, tudzież, że δ najwięcéj w wypadkach praktycznych 260^0 oznaczać może; łatwo dostrzedz: że $\beta\,(100+\delta)$ jest zawsze bardzo małe w porównaniu z jednością; więc także zmiany ilości δ bardzo mało wpływają na ważność mianownika $1+\beta\,(100+\delta)$, a tém samém na ważność błędu x; dla tego téż liczebna wielkość tego błędu przy niezmiennéj ważności β, przeważnie zależeć musi od wielkości licznika, t. j. od ilości δ.

Jeżeli ujemnemu stopniowi cieploty $-t'$ odpowiada błąd x'; z wzoru VII otrzymamy:

$$x' = \frac{-(100+t')\beta t'}{1-\beta t'}. \qquad \text{(XI)}$$

Gdy dla małości β, iloczyn $\beta t'$ dla najniższych cieplot nam znanych bardzo jest małym w porównaniu z jednością; więc zmiany t' bardzo mało tylko wpływają na zmianę mianownika $1+\beta t'$; a tém samém na zmianę błędu x'; dlatego téż wielkość tego błędu przeważnie zależy od wielkości licznika, t. j. od t', jeżeli β jest niezmienne.

e. Przy niezmiennéj ważności t, błąd pomieniony jest liczebnie tém większym, im większe β. Co z łatwością wypływa z wzorów VII, X i XI, tudzież z uwag pod *d* zrobionych.

A więc musiałyby się różnić cieplomierze, gdyby ich naczynia szklanne, również jak płyn w nich zawarty, miały różną choćby niezmienną rozszérzalność. W jakich zaś granicach te różnice musiałyby być zawarte, okazuje tablica III. Albowiem przy obliczeniu tych tablic wzięto za podstawę średnie współczynniki rozszérzalności sześciennéj naczyń $\beta = 0.00002$, i $\beta' = 0{\cdot}00003$. Ważności zaś wspomnionych współczynników dla szkieł różnych są zawarte według Regnaulta w granicach pomiędzy 0·00002101 i 0·00002648 [5]); a według tablic zestawionych na podstawie doświadczeń różnych badaczy przyrody przez Hesslera pomiędzy 0·0000233 i 0·0000297 [6]).

---

5) *Annales de Chimie et de Physique. 3me serie.* T. IV. str. 66.

6) Dr. J. F. Hessler. *Lehrbuch der Physik. 2te Auflage. Wien 1854. XV Tabelle.* str. LII.

Powtóre: jeżeli tak płyn w ciepłomierzach zawarty, jako téż ich szklanne naczynia i rurki mają rozszérzalność zmienną.

aa. W tym razie błąd x jest także równy zero, jeżeli $t=0$ lub $t=100$; gdyż

według III $x=t\left\{\frac{(\alpha_1-\beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)}-1\right\}$.

Zkąd: dla $t=0$, $x=0$;

dla $t=100$, $\alpha_1=\alpha$, $\beta_1=\beta$;

więc $\alpha_1-\beta_1=\alpha-\beta$ i $1+\beta_1 t=1+100\beta$;

a zatém $x=t(1-1)=0$.

bb. Jeżeli $(\alpha_1-\beta_1):(\alpha-\beta)=(1+\beta_1 t):(1+100\beta)$; wtedy ciepłomierz okazuje dokładnie wszystkie stopnie ciepłoty.

Wtedy albowiem: $\frac{\alpha_1-\beta_1}{\alpha-\beta}=\frac{1+\beta_1 t}{1+100\beta}$,

$$\frac{(\alpha_1-\beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)}=1;$$

więc $x=0$.

Jednak jest rzeczą nieprawdopodobną, żeby ten warunek został kiedy dokładnie wypełnionym, szczególnie dla wszystkich stopni ciepłoty; prędzéj wydarzyćby się to mogło w pewnych granicach, w których to ciepłomierz nie okazywałby żadnych błędów z powodu rozszérzalności tak naczynia, jako téż i płynu.

cc. Jeżeli warunek pod *bb* wyrażony nie jest dopełnionym, wtedy ciepłomierz okazuje niedokładnie wszystkie stopnie ciepłoty oprócz zera i sto; lecz ani znak, ani liczebna ważność błędu x, nie da się nawet przybliżenie oznaczyć ze samej ważności t, lub α, lub β, tylko błąd x zależy od pięciu ważności: α, α_1, β, β_1 i t

w ten sposób: iż jest dodatnym, jeżeli dla dodatnego t ułamek

$$\frac{(\alpha_1-\beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)}$$

jest większy niż jedność, lub dla ujemnego t mniejszy od jedności; ujemnym zaś w przeciwnym razie; liczebna zaś ważność tego błędu jest tém większą, im więcéj ważność wyżéj pomienionego ułamku różni się od jedności.

Najjaśniéj to się pokazuje z porównania tablic I, II i III. Porównywając tablicę II z III widzimy, że błąd ciepłomierzy powietrznych z podziałką stałą ma ten sam znak jak błąd ciepłomierzy, w których tak płyn, jako téż szklanne naczynie i rurka mają rozszérzalność niezmienną. Dla niezmiennéj albowiem rozszérzalności powietrza $\alpha=\alpha_1$, gdy nadto ważność β_1 wzrasta z ciepłotą, jest dla $t<100$, $\beta_1<\beta$; więc $\beta_1 t<100\beta$, a $\frac{1+100\beta}{1+\beta_1 t}>1$, oraz $\alpha-\beta<\alpha_1-\beta_1$; zkąd $\frac{\alpha_1-\beta_1}{\alpha-\beta}>1$;

a zatém $$\frac{(\alpha_1-\beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)}>1;$$

błąd więc x w ustępie głównym dodatny.

Jeżeli zaś $t>100$, to także $\beta_1>\beta$, $\beta_1 t>100\beta$,

$$\frac{1+100\beta}{1+\beta_1 t}<1,$$

oraz $\alpha_1-\beta_1<\alpha-\beta$, więc: $\frac{\alpha_1-\beta_1}{\alpha-\beta}<1$,

a zatém $$\frac{(\alpha_1-\beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)}<1:$$

czyli błąd x dla ciepłot wyższych niż sto stopni jest ujemnym.

Zupełnie przeciwne znaki ma zwykle błąd x w ciepłomierzach rtęciowych, jak to pokazuje tablica I, co ztąd pochodzi, że rozszérzalność rtęci nierównie więcéj się zmienia za zmianą ciepłoty, niż rozszérzalność szkła. Jakkolwiek więc dla $t < 100$, także w ciepłomierzach rtęciowych ułamek $\frac{1+100\beta}{1+\beta_1 t}$ jest nieco większém od jedności, jednak gdy $\alpha_1 - \beta_1$ o wiele jest mniejsze od $\alpha - \beta$, ułamek $\frac{\alpha_1 - \beta_1}{\alpha - \beta}$ tak znacznie jest mniejszym od jedności, że iloczyn $\frac{(\alpha_1 - \beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)} < 1$, a więc błąd x jest ujemnym w ustępie głównym.

Podobnież dla $t > 100$ wprawdzie $\frac{1+100\beta}{1+\beta_1 t} < 1$, lecz $\frac{\alpha_1 - \beta_1}{\alpha - \beta}$ tak znacznie jedność przewyższa, iż iloczyn

$$\frac{(\alpha_1 - \beta_1)(1+100\beta)}{(\alpha-\beta)(1+\beta_1 t)} > 1,$$

a więc błąd jest dodatnym dla stopni ciepłoty wyższych niż sto.

Porównajmy teraz te prawa z teoryi wypływające, z upowszechnionėm dotąd zdaniem najznakomitszych Fizyków o ciepłomierzach powietrznych i rtęciowych.

Regnault utrzymuje, że zmiana rozszérzalności szkła nie wywiera żadnego wpływu na bieg ciepłomierzy powietrznych, z powodu, iż rozszérzalność szkła jest bardzo małą w porównaniu z rozszérzalnością powietrza; przeciwnie zaś w ciepłomierzach rtęciowych znaczny jest wpływ rozszérzalności naczyń na bieg narzędzia, gdyż rozszérzalność rtęci i szkła są ilościami tegoż samego

rzędu, co do wielkości t. j. nie o wiele się między sobą różnią; dlatego téż według niego zgadzają się ciepłomierze powietrzne, chociaż z różnych szkieł są zrobione, bynajmniéj zaś tego powiedzieć nie można o ciepłomierzach rtęciowych z różnych szkieł zrobionych, które nie tylko się nie zgadzają z ciepłomierzami powietrznemi, ale także bardzo znacznie się różnią pomiędzy sobą [7]). Za tém zdaniem idą wszyscy Fizycy, tak n. p. Jamin [8]), Müller [9]) i inni.

---

7) *Annales de Chimie et de Physique. 3me serie.* T. VI. str. 379 *Deux thermomètres à air seront toujours comparables, quelle que soit la nature du verre qui constitue leur enveloppe, parce que la dilation du verre et si petite, en comparaison de celle du mercure* (powinno być *de l'air*), *que les variations de cette dilatation sont tout à fait sans influence sur la marche des thermomètres à air.*

Mais il n'en est pas de même des thermomètres à mercure: la dilatation du verre est du même ordre de grandeur que celle du mercure; il en resulte que, pour que deux thermomètres à mercure soient comparables, il faut qu' ils soient formés non seulement avec du mercure identique, mais encore par des enveloppes de verre de même nature ou du moins qui suivent les mêmes lois de dilatation.

Ainsi, en résumé, les irregularités des thermomètres à air sont assez petites pour être négligeables, et ces instruments peuvent être regardés comme comparables. Dans les thermomètres à mercure, au contraire, les variations dues à la nature de l'enveloppe sont tellement considerables dans les hautes températures, que ces instruments cessent d'être comparables, alors même que l'on neglige d'autres causes d'erreur qui tiennent au deplacement des points fixes, et qui laissent toujours une grande incertitude sur la valeur absolue du degré.

8) Jamin. *Cours de Physique.* T. II. str. 80. *On comprendra aisément ce resultat. Il est bien vrai que les dilatations du*

Teorya jednak okazuje, że rozszérzalność szkła wywiera wpływ także na ciepłomierze powietrzne, że błąd ztąd pochodzący może być w tych ciepłomierzach liczebnie téj samój wielkości, jak w ciepłomierzach rtęciowych, chociaż co do znaku wprost jest przeciwny (jak to wynika z porównania kolumn x' w tablicy I i II), daléj że nawet ciepłomierze rtęciowe mogłyby okazywać wszystkie stopnie ciepłoty zupełnie dokładnie, gdyby dopełniono warunku wspomnionego pod *bb* t. j.: gdyby użyto na naczynie szkła jeszcze nagléj zmieniającego swoją rozszérzalność z ciepłotą, niż szkło białe

---

verre et du cristal suivent des lois differentes et ne sont pas proportionnelles; mais le défaut de proportionnalité de ces deux dilatations n'intervient que comme une cause d'erreur extrêmement petite et tout à fait négligeable, car elles ne sont guère que la 160e partie de la dilatation des gaz. On peut après ces épreuves considérer le thermomètre à air comme un instrument parfaitement comparable, etc.... A na str. 83. *Ces resultats auraient pu se prévoir; car dans les différents thermomètres à mercure, c'est la dilatation apparente qui est observée; elle est la différence entre les dilalatations absolues du mercure et du verre, et cette dernière est le septieme environ de la première. Elle doit donc influer notablement sur l'effet resultant, et changer les lois de cet effet toutes les fois qu'elle change elle- même.*
Il est donc bien demontré qu'à des temperatures élevées les thermomètres a mercure ne sont poin tous comparables,.....

[9]) Müller-Pouillet's *Lehrbuch der Physik und Meteorologie. 6te Auflage.* T. II. str. 596. *Bei genauen Versuchen sollte man deshalb die Bestimmung höherer Temparaturen stets mit dem Luftthermometer machen, da bei dessen Angaben, wegen der Grösse der Ausdehnung der Luft, die Fehler verschwinden, welche durch die Unregelmässigkeiten und die Ausdehnung der Glashülle veranlasst werden.*

francuzkie; teorya również okazuje (Tablica II. kolumna $n-n'$), że ciepłomierze powietrzne, gdyby nie zrobiono poprawki dla rozszérzalności szkła, z tegoż powodu różniłyby się w środku ustępu głównego przeszło o 0°,02 C., przy ciepłocie zaś 350°C. przeszło o 1°C. Jakkolwiek więc powyższa teorya tłumaczy prawdy na doświadczeniach oparte, że ciepłomierze rtęciowe znacznie się różnią, gdy ich naczynia są zrobione ze szkieł różnych (Tablica I), że ciepłomierze powietrzne w praktyce uważać można, jako narzędzia zupełnie zgodne, szczególnie jeżeli się uwzględni rozszérzalność szklanego naczynia, i błąd ztąd pochodzący rachunkiem się usunie, (jak się to zwykle dzieje); jednak nie zgadza się ona ze sposobem tłumaczenia tegoż zjawiska, dotąd upowszechnionym. Zgodność albowiem ciepłomierzy powietrznych, (szczególnie, jeżeli się błąd z rozszérzalności szkła pochodzący rachunkiem usuwa), i niezgodność znaczna ciepłomierzy rtęciowych (szczególnie przy ciepłotach wyższych), nie pochodzą ztąd, że rozszérzalność szkła w porównaniu z rozszérzalnością powietrza jest bardzo małą, względem zaś rozszérzalności rtęci dość znaczną; lecz raczéj tłumaczyć je wypada z niezmiennéj rozszérzalności powietrza, i z bardzo zmiennéj a z ciepłotą znacznie wzrastającéj rozszérzalności rtęci, tudzież z różnie zmiennéj rozszérzalności różnych szkieł.

Nadmienić tu wypada jeszcze dwa prawa z powyższéj teoryi wypływające, jako bardzo ważne w zastósowaniu: 1. że ciepłomierze rtęciowe zgadzają się ze sobą tylko wtedy, gdy są zrobione z tego samego szkła, lub przynajmniéj ze szkieł zmieniających swą rozszérzalność według tego samego prawa; 2. że ciepłomierz powietrzny nie zgadza się z rtęciowym, choćby obydwa były

zrobione z tego samego szkła; owszem dwa takie ciepłomierze więcéj się nieraz różnią między sobą, niż dwa ciepłomierze rtęciowe z różnych szkieł zrobione; co łatwo się ztąd tłumaczy, że w ciepłomierzach rtęciowych jest błąd dodatnym w tych punktach podziałki, w których jest ujemnym w ciepłomierzach powietrznych i na odwrót. Te prawa wypływają z wzoru III i z *cc*, a szczególnie je wyjaśnia porównanie kolumny *n—n'* w tablicy I z kolumną *d* w tablicy II.

Zwrócenie uwagi na te prawa okazuje się tém potrzebniejszém, gdy pod tym względem tak znakomity badacz przyrody jak Magnus [10]) mylne objawił zdanie, a Regnault prostując je, w tém miejscu nie bardzo jasno się wyraża.

---

[10]) *Annales de Chimie et de Physique. 3me Serie.* T. VI. Magnus w swéj rozprawie „*Sur la dilatation de l'air dans les hautes températures*“ mówi na str. 367. *Je me déterminai à répéter de nouveau quelques experiences et à soumettre mes premiers resultats à une verification sévère. Celle-ci me paraissait d'autant plus nécessaire, que* M. Regnault *attache une grande importance à ce que les thermomètres à air et à mercure soient construits avec le même verre...... Les thermomètres que j'ai employés etaient construits avec la même espèce de verre que les tubes qui renfermaient l'air, et les résultats de* M. Regnault *montrent que la difference entre la marche de plusieurs thermomètres n'est considerable que dans le cas où ils sont formés par de verres très differents, comme de verre ordinaire ou de cristal; qu'elle est très-faible au contraire quand le verre est de mêmê espèce. Je pensai qu'il etait convenable, pour éviter toute objection, de construire les thermomètres à mercure au moyen du même tube de verre qui avait déja fourni l'enveloppe pour contenir l'air.* To fałszywe zdanie Magnusa prostuje Regnault w swéj rozprawie:

Porównajmy nakoniec powyższe tablice z wypadkami doświadczeń, robionych w celu porównania ciepłomierzy rtęciowych z powietrznemi, lub pomiędzy sobą.

	Stopniom ciepłoty						
na ciepłomierzu rtęciowym	100	150	200	250	300	330	360
odpowiadają na ciepłomierzu powietrzn. według Dulonga i Petita 1)	100	148·70	197·05	245·05	292·70	321·12	350
odpowiadają na ciepłomierzu powietrzn. według Rudberga 2)	100		198·80		294·70		
odpowiadają na ciepłomierzu powietrzn. według Magnusa 1)	100	148·74	197·49	245·39	294·51	320·92	

„*Note sur la comparaison du thermomètre à air et du thermomètre à mercure*“; w tym samym tomie roczników na str. 378: M. Magnus *pense avoir évité cet inconvénient en prenant les réservoires du thermomètre à air et à mercure sur le même tube de verre* [1]). *Mais il est évident que cela ne remédie absolument à rien. Les dilatations absolues du mercure et de l'air sont indépendantes de la dilatation du verre. mais il n'en est pas de même de leurs dilatations apparentes. La valeur d'une fraction ne reste pas la même, quand on ajoute ou retranche à ses deux termes une même quantité,*

1) *Je n'ai dit nulle part qu'il etait trés-important que les thermomètres à air et à mercure fussent construits avec le même verre, comme* M. Magnus *parait le croire, page 367.*

11) *Annales de Chimie et Physique. 3me Serie.* T. VI. str. 366 Baumgartner. *Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. Supplementband. Wien 1831.* str. 933. Hessler. *Lehrbuch der Physik. 2te Auflage. Wien 1854.* Str. LVII.

12) Müller-Pouillet's *Lehrbuch der Physik. 6te Auflage.* T. II str. 596.

Według Regnaulta odpowiadają téj saméj ciepłocie następujące stopnie: [13])
na ciepłomierzu powietrznym:

0° 50° 100° 150° 200° 250° 300° 325° 350°

na ciepłomierzu rtęciowym:

0° 50°2 100° 150° 200° 250°3 301°2 326°9 353°3

Różnica więc obydwóch ciepłomierzy:

0° 0·2 0° 0° 0° 0·3 1·2 1·9 3·3.

Jednak porównywając ciepłomierze rtęciowe z różnych szkieł zrobione pomiędzy sobą, znalazł Regnault nierównie większe różnice: dochodziły one przy ciepłocie 350° (według ciepłomierza powietrznego) do 6°5, gdyż przy téj ciepłocie ciepłomierz rtęciowy ze szkła kryształowego okazywał 360°5, ciepłomierz zaś ze szkła zwyczajnego tylko 354° [14]). Przy innêm doświadczeniu odpowiadało ciepłocie 340°07, według ciepłomierza ze szkła kryształowego, na ciepłomierzu ze szkła zwyczajnego tylko 333°72. Różnica więc wynosiła 6°35 [15]).

Pierra doświadczenia również okazują, że dla ciepłot wyższych niż sto stopni, odpowiadają tym samym ciepłotom stopnie wyższe na ciepłomierzach ze szkła kryształowego, niższe zaś na ciepłomierzach ze szkła zwyczajnego, jednak nie znajduje on tak wielkich różnic jak Regnault. Największą różnicę znalazł w piérw-

---

13) *Annales de Chimie et Physique.* T. V. str. 99.

14) Jamin. *Cours de Physique.* T. II. str. 82.

15) *Annales de Chimie et Physique. 3me Serie.* T. V. str. 102. Ciepłomierze rtęciowe przez Regnaulta porównywane z powietrznemi, były to ciepłomierze ciężarowe, bez podziałki, lecz z ulewającą się rtęcią. Bieg jednak tychże zgadza się z biegiem zwyczajnych ciepłomierzy, jeżeli obydwa narzędzia z tego samego szkła są zrobione, jak to okazuje Jamin w swojém dziele: *Cours de Physique.* T. II. str. 83 i 84.

sszym szeregu doświadczeń, gdzie ciepłomierz III okazywał 274°50. Ciepłomierz IV. 271°19; wynosiła ona 3°31. Ciekawą jednak jest rzeczą, że dla wyższych ciepłot ta różnica była znów mniejszą: tak, gdy III okazywał 313°69, na IV odczytano 310°83; różnica więc tylko 2°86 [16])

Porównywając te wypadki doświadczeń z tablicą III i z prawami *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, dostrzegamy zupełną niezgodność teoryi z doświadczeniem. Co nas jednak dziwić nie może, gdyż tablica III i prawa wspomnione polegają na wzorach V, VI, VII, VIII, IX odnoszących się do ciepłomierzy, w których tak płyn jako też naczynia szklanne i rurki mają rozszérzalność wprawdzie różną lecz niezmienną t. j. do ciepłomierzy dotąd nieznanych w przyrodzie. Przeciwnie zaś widzimy, porównawszy wypadki doświadczeń z tablicami I i II, tudzież z prawami *aa*, *bb*, *cc*, wielką zgodność doświadczenia i teoryi. Te albowiem tablice i prawa są wyprowadzone z wzorów I, II, III, IV, odnoszących się do ciepłomierzy, w których tak płyny, jako też naczynia szklanne i rurki nietylko mają rozszérzalność różną, lecz oraz zmienną, a więc do narzędzi takich, jakie dotąd są znane i używane. Po większéj części różnice pomiędzy ciepłomierzami rtęciowemi, zrobionemi ze szkieł różnych, tudzież pomiędzy ciepłomierzami rtęciowemi i powietrznemi, dostrzeżone przez wyżéj pomienionych badaczy, mają taki znak, jaki według teoryi mieć powinny, a co do wielkości są objęte w tych granicach, jakie wskazują tablice I i II. Jednak okazują się nie-

---

[16]) Tamże str. 438. Ciepłomierze rtęciowe porównywane przez Pierra były zwyczajne, z bardzo dokładną podziałką.

które zboczenia na pozór z teoryą sprzeczne, o których jeszcze nieco tutaj powiedzieć wypada.

W doświadczeniach Regnaulta zgadzał się ciepłomierz rtęciowy z powietrznym zupełnie pomiędzy 100° i 200°, a bardzo mało się różnił pomiędzy 200° i 250°. To zjawisko można ztąd wytłómaczyć, że błąd ciepłomierza powietrznego usunięto po większéj części przez stósowną poprawkę uczynioną dla rozszérzalności szkła; błąd zaś ciepłomierza rtęciowego mógł być w pewnych granicach równy zero, jeżeli w tych granicach prawo rozszérzalności szkła zadość czyniło warunkowi pod *bb* wzmiankowanemu.

Bardzo ciekawe zjawisko okazało się w doświadczeniach Pierra. W tych, jak wyżéj napomknąłem, różnica pomiędzy ciepłomierzami ze szkła kryształowego i ze szkła zwyczajnego była największością przy ciepłocie blisko 270°, gdy według tablicy I spodziewaćby się można, że wzrastaćby powinna bez końca z ciepłotą, jak to rzeczywiście także w doświadczeniach Dulonga, Magnusa, Rudberga i Regnaulta widzimy. Przyczyną tegoż zboczenia było szczególne, i od zwykłego odmienne urządzenie ciepłomierzy przez Pierra porównywanych. Każda para ciepłomierzy porównywanych ze sobą przez tegoż badacza, miała rurki zrobione z tego samego szkła, t. j. z części téj saméj rurki; różniły się te narzędzia pomiędzy sobą tém tylko, że u jednego przylutowane było naczynie walcowate ze szkła kryształowego, u drugiego zaś takie samo naczynie, lecz ze szkła zwyczajnego; nadto starał się Pierre, ażeby i grubość ścian, naczyń przylutowanych i wymiary tychże naczyń były prawie równe [17]). Ztąd widzi-

[17]) Tamże: str. 428.

my, że nie dadzą się zastósować do tych ciepłomierzy wzory I, II, III, IV, ani też tablica I. Wzory dla tych ciepłomierzy musiałyby być nierównie zawilsze, gdyż oprócz średnich współczynników rozszérzalności sześciennéj rtęci α i α_1, potrzebaby wprowadzić w rachunek średnie współczynniki rozszérzalności sześciennéj naczynia szklannego β i β_1, tudzież takie współczynniki rozszérzalności rurki szklannéj γ i γ_1. Bez wyprowadzenia jednak tych wzorów, już zrozumieć możemy: że najprzód różnice pomiędzy temi ciepłomierzami, których tylko naczynia się różniły, a rurki były jednakowe, musiały być mniejsze niż różnice pomiędzy ciepłomierzami, których i naczynia i rurki różną mają rozszérzalność, (jak to rzeczywiście doświadczenia potwierdziły); powtóre, że dla bardzo wysokiéj ciepłoty, gdzie znaczna bardzo część rtęci już rurki wypełniała, różnica pomiędzy temi ciepłomierzami, która dotąd wzrastała, mogła po za tym kresem znowu się pomniejszać, a tém samém stać się największością.

Według Regnaulta ciepłocie 50° na ciepłomierzu powietrznym, odpowiada 50°2 na ciepłomierzu rtęciowym, a więc o 0°2 więcéj, gdy według tablicy II (kolumny *d* i *d'*) spodziewaćby się było można, że w tym razie ciepłomierz rtęciowy o 0°379, albo przynajmniéj o 0°17 mniéj niż 50° okazywać będzie. To zjawisko więc wprost się teoryi sprzeciwia. Podobnie Pierre, porównywając ciepłomierze rtęciowe pomiędzy sobą, znalazł prawo, że w granicach ustępu głównego stopień ciepłoty odczytany na ciepłomierzu z naczyniem ze szkła kryształowego, był wyższym, niż téj saméj ciepłocie odpowiadający stopień, odczytany na ciepłomierzu z na-

czyniem ze szkła zwyczajnego [18]). Według teoryi zaś t. j. według tablicy I, która w tym razie przynajmniéj przybliżenie da się zastósować do ciepłomierzy przez Pierra porównywanych, spodziewać się było można wypadku wprost przeciwnego. Przypatrzywszy się jednak bliżéj liczbom z doświadczeń otrzymanym i przez Pierra w tablicy [18]) zestawionym, z których dla przykładu podaję tutaj wypadki pierwszego szeregu doświadczeń:

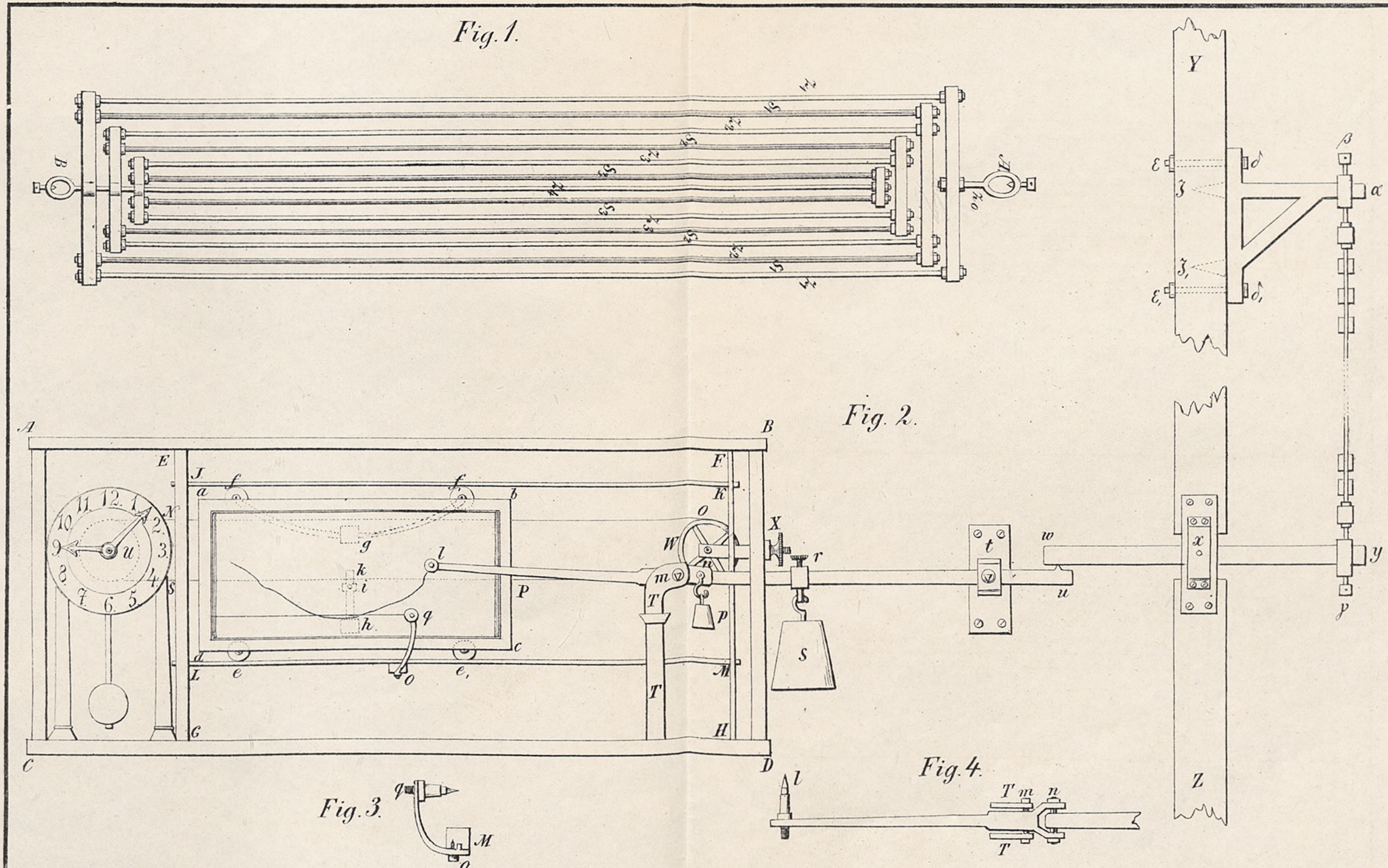
I. Ciepłomierz z naczyniem ze szkła kryształowego	II. Ciepłomierz z naczyniem ze szkła zwyczajnego	Różnica I — II
16·60°	16·57°	+ 0·03°
37·86	37·79	+ 0.07
40·66	40·59	+ 0·07
46·48	46·41	+ 0·07
47·91	47·85	+ 0·06
48·06	47·97	+ 0·09
49·78	49·67	+ 0·11
49·93	49·86	+ 0·07
50·32	50·29	+ 0·03
50·87	50·86	+ 0·01
51·37	51·41	− 0·04
52·32	52·33	− 0·01
55·05	55·04	+ 0·01
57·26	57·23	+ 0·03
59.04	58·91	+ 0·13

dostrzegamy, że różnice I — II według doświadczeń w przecięciu są dodatne, gdy według teoryi powinny być ujemne; jednak liczebne ważności tych różnic, które według teoryi powinny być w środku ustępu głównego największe, według doświadczeń stają się często

[18]) Tamże str. 435 i 436.

mniejsze, gdy więcéj się od punktów stałych oddalamy, a nawet w środku ustępu głównego przybierają znak ujemny, jaki mieć powinny według teoryi. To nasuwa nam tę myśl, że oprócz rozszérzalności naczyń i rurek szklannych, wpływać jeszcze muszą i inne okoliczności na błąd ciepłomierzy rtęciowych, błąd ten co do znaku przeciwnym jest błędowi pochodzącemu z rozszérzalności szkła; dopóki więc błąd z rozszérzalności szkła pochodzący, jest małym, stać się może, że summa błędów ma znak przeciwny temu, jaki według teoryi powyżéj wyłożonéj mieć powinna; gdzie zaś ten błąd ma znaczną ważność liczebną, jak w środku ustępu głównego, a jeszcze więcéj dla ciepłot znacznie wyższych niż 100° C., tam te inne wpływy mogą wprawdzie uczynić, iż liczebna ważność summy błędów będzie mniejszą, niż błąd dla rozszérzalności szkła według teoryi powyższéj, wszakże znaku tegoż błędu nie zmienią. Że oprócz rozszérzalności szkła jeszcze inne okoliczności wpływają na błędy ciepłomierzy rtęciowych, potwierdza znane, lecz dotąd niedostatecznie zbadane zjawisko podnoszenia się zera, albo ogólniéj, zmieniania się z czasem położeń punktów stałych podziałki. Do tych okoliczności należy oprócz wielu może nam dotąd nieznanych, niezawodnie zmienna sprężystość szkła ze stopniem ciepłoty, zmiana hartu, a tém samém sprężystości szkła w skutek doznanych zmian ciepłoty, zmiana ciśnienia na ściany naczynia tak od zewnątrz, jako téż jeszcze więcéj od wewnątrz, już to w skutek wznoszącego się słupka rtęciowego w rurce przy wzrastającéj ciepłocie, już to w skutek zmian kształtu powierzchni rtęci w rurce. Do niezgodności ciepłomierzy rtęciowych, oprócz pomienionych okoliczności, przyczyniać się nie-

zawodnie będzie różna podatność ścian ich naczyń, a zatém różna grubość tychże, różny ich kształt i różne wymiary. Widzimy więc, że ciepłomierze rtęciowe są to narzędzia bardzo jeszcze niedokładne i ze sobą niezgodne, że teorya dotąd nie jest w stanie oznaczyć w danym razie dokładnie wielkości błędu, a czasem nawet ani znaku jego; na co potrzeba zawsze zważać przy ścisłych doświadczeniach i dostrzeżeniach, i ochraniać się przynajmniéj od popełniania większych błędów przez częste porównywanie ciepłomierzy do takich doświadczeń i dostrzeżeń używanych, już to z powietrznemi, już to pomiędzy sobą.



Litogr. Czasu W. Kirchmayera w Krakowie.

Kraków, w Drukarni c. k. Uniwersytetu Jagiellońskiego
pod t. zarządem *F. Schmiedehausena* 1865.